Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 265-278
Original Research

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۲۷۸-۲۶۵
نوع مقاله: پژوهشی

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.86819.1083

The Effect of Nitrogen Fertilizer Application and Planting Pattern on Yield and Competition Indices of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) and Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd)

Elham Raftari[1*], Ali Nakhzari Moghaddam[2], Mehdi Mollashahi[2], Ebrahim Gholamalipour Alamdari[3]

Received: 11-02-2024
Revised: 18-04-2024
Accepted: 18-05-2024
Available Online: 03-11-2024

Cite this article:
Raftari, E., Nakhzari Moghaddam, A., Mollashahi, M., & Gholamalipour Alamdari, E. (2024). The effect of nitrogen fertilizer application and planting pattern on yield and competition indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Iranian Journal of Pulses Research*, *15*(2), 265-278. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.86819.1083

Introduction
Intercropping, the agricultural practice of cultivating two or more crops in the same space at the same time, is an old and commonly used cropping practice which aims to match efficiently crop demands to the available growth resources. The practice of growing two or more crops simultaneously in the same field is called intercropping and it is a common feature in traditional farming of small landholders. It provides farmers with a variety of returns from land and labour, often increases the efficiency with which scarce resources are used and reduces the failure risk of a single crop that is susceptible to environmental and economic fluctuation. Intercropping of chickpea with linseed reduced the chickpea yield by 60.3%, although linseed occupied only 33% of the total area. The loss of chickpea yield was compensated by the additional yield of linseed, and thus the system productivity of chickpea + linseed intercropping was increased by 43.4% compared with sole chickpea. Of this increase in system productivity, 65.3 and 34.7% were contributed by higher seed yield and higher minimum prices of linseed, respectively as compared to chickpea. The objectives of the present study were to study the competition indices of chickpea and quinoa intercropping such as land equivalent ratio, relative crowding coefficient, aggressivity, chickpea equivalent yield and effects of nitrogen and different intercropping arrangements on yield of sole chickpea, sole quinoa and intercropping yield of two plants. The objectives of the present study was to determine the best appropriate treatment of sole cropped, replacement and additive series of chickpea and quinoa in terms of yield and investigation of competition indices in intercropping replacement and additive chickpea and quinoa.

Materials and Methods
In order to study the effect of planting pattern and nitrogen application on yield and competitive indicators of chickpea and quinoa, a factorial experiment based on randomized complete block design (RCBD) was conducted with three replications at Gonbad Kavous University farm during the 2020-2021 growing season. Nitrogen factor was included three levels of non-application and application of 25 and 50 kg N.ha^{-1} and the treatments of intercropping were included 9 levels of sole cropped of chickpea and quinoa, 67% chickpea + 33% quinoa, 50% chickpea + 50% quinoa, 33% chickpea + 67% quinoa, 100% chickpea + 33% quinoa, 100% chickpea + 50% quinoa, 100% chickpea + 67% quinoa and 100% chickpea + 100% quinoa. For analysis variance of data software of SAS Ver. 9.4 was used and treatment mean differences were separated by the least significant difference (LSD) test at the 0.05 probability level.

Results and Discussion
Results showed that the effects of planting pattern and nitrogen consumption on yield were significant at confidence level of 1%. The maximum total yield belonged to the treatment sole cropped of chickpea with 3529 kg.ha^{-1}, which was not significantly different from the 67% chickpea + 33% quinoa treatment. With increase of nitrogen fertilizer consumption, total yield was increased. The lowest chickpea crop equivalent yield related to the treatment sole cropped of chickpea and mixed crop was 33% increase of quinoa to chickpea crop with 3529 and 3551 kg.ha^{-1}, respectively, and

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Assistant Professors and Associate Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Gonbad Kavous, Iran, respectively.
* Corresponding Author: raftari.elham@gonbad.ac.ir

the highest was related to sole cropped of quinoa with 8876 kg.ha^{-1}. Land equivalent ratio was higher than one in all the additive mixed cropping treatments and alternative mixed cropping treatments. The maximum proportion of land belonging to the treatment of 100% chickpeas + 67% quinoa was 1.10. The relative coefficient of total density in all treatments was more than one, which indicates the desirability of mixed cultivation of chickpea and quinoa. The examination of the aggressivity index showed that quinoa was dominant in the mixed cropping treatments, increasing and replacing the plant. As a result, the dominance index of quinoa was positive despite the favorable yield of both plants.

Conclusions
Of the two plants of chickpea and quinoa, quinoa plant produced more yield than chickpea plant. The maximum total yield belonged to the treatment sole cropped of chickpea with 3529 kg.ha^{-1}, which was not significantly different from the 67% chickpea + 33% quinoa treatment. With increasing of nitrogen fertilizer consumption, yield was increased. According to the results, it seems that it is not possible to increase the density of two plants in mixed cultivation to obtain the maximum yield.

Keywords: Aggressivity, Intercropping, Land equivalent ratio, Chickpea equivalent yield

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۲۷۸-۲۶۵
نوع مقاله: پژوهشی

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 265-278
Original Research

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.86819.1083

تأثیر الگوی کاشت و کاربرد کود نیتروژن بر عملکرد و شاخص‌های رقابت نخودزراعی (*Cicer arietinum* L.) و کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd)

الهام رفتاری[1*]، علی نخزری مقدم[2]، مهدی ملاشاهی[2]، ابراهیم غلامعلی‌پورعلمداری[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۹

چکیده

به‌منظور بررسی اثر الگوی کاشت و نیتروژن بر عملکرد و شاخص‌های رقابت نخودزراعی و کینوا، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه دانشگاه گنبدکاووس در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۳۹۹ اجرا گردید. عامل الگوی کاشت در نُه سطح شامل کشت خالص کینوا و نخودزراعی، کشت مخلوط جایگزین ۳۳، ۵۰ و ۶۷ درصد کینوا به‌جای نخودزراعی، کشت مخلوط افزایش ۳۳، ۵۰، ۶۷ و ۱۰۰ کینوا به نخودزراعی و عامل نیتروژن در سه سطح شامل عدم مصرف، مصرف ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار بود. نتایج نشان داد که حداکثر عملکرد دانه به تیمار کشت خالص نخودزراعی با ۳۵۲۹ کیلوگرم در هکتار تعلق داشت که با تیمار ۶۷ درصد نخودزراعی + ۳۳ درصد کینوا اختلاف معنی‌داری نداشت. با افزایش مصرف نیتروژن، عملکرد کل افزایش یافت. کم‌ترین عملکرد معادل نخودزراعی مربوط به تیمار کشت خالص نخودزراعی و کشت مخلوط افزایش ۳۳ درصد کینوا به نخودزراعی به‌ترتیب با ۳۵۲۹ و ۳۵۵۱ کیلوگرم در هکتار و بیش‌ترین آن مربوط به کشت خالص کینوا با ۸۸۷۶ کیلوگرم در هکتار بود. نسبت برابری زمین و ضریب نسبی تراکم در تمام تیمارهای کشت مخلوط افزایشی و تیمارهای کشت مخلوط جایگزین بالاتر از یک بود که نشان‌دهنده مطلوب بودن کشت مخلوط بود. کینوا در تیمارهای کشت مخلوط افزایشی و جایگزین گیاه غالب بود در نتیجه، شاخص چیرگی کینوا با وجود مطلوب بودن عملکرد هر دو گیاه مثبت شد. در مجموع، تیمار کشت خالص نخود زراعی از نظر عملکرد دانه و تیمار کشت خالص کینوا از نظر عملکرد معادل نخودزراعی برتر از تیمارهای دیگر بودند.

واژه‌های کلیدی: عملکرد معادل نخودزراعی، غالبیت، کشت مخلوط، نسبت برابری زمین

مقدمه

در سال‌های اخیر با روشن‌تر شدن مشکلات کشاورزی تک‌کشتی از جمله آلودگی آب، خاک و همچنین کاهش توان تولید زمین‌های زراعی، توجه محققان بیش از پیش به حفظ ثبات و باروری نظام‌های تولید کشاورزی معطوف شده است (Bedoussac & Justes, 2010). کشت مخلوط عبارت از تولید دو یا چند گیاه به‌طور هم زمان در یک قطعه زمین در یک سال می‌باشد؛ این روش کشت، به‌عنوان یک روش افزایش محصول در کشورهای پر جمعیت برای فراهم کردن غذای بیش‌تر رایج شده است (Agegneh et al., 2006). در بوم‌نظام کشت مخلوط، هر دو جمعیت گیاهی برای بهره‌برداری از منابع یکسان یا مشابه رقابت دارند. در این خصوص، مفاهیم ریاضی می‌توانند به محققان در خلاصه‌بندی، تفسیر و تشریح نتایج رقابت‌های گیاهی کمک کنند. این مفاهیم می‌توانند جوانب مختلف رقابت در جوامع گیاهی از قبیل شدت رقابتی، تأثیرات رقابتی و بازده رقابت را تفسیر کنند. همچنین، می‌توانند برای تفسیر اطلاعات پیچیده به محقق کمک کنند و امکان مقایسه نتایج تحقیقات مختلف را فراهم سازند (Lithourgidis et al., 2011). کشت مخلوط باعث حداکثر استفاده از منابع رشدی در بعد زمان و مکان می‌شود (Gao et al., 2009). از مهم‌ترین فواید کشت مخلوط، افزایش تولید در واحد سطح نسبت به تک‌کشتی به‌دلیل استفاده بهتر از عوامل محیطی مانند نور، آب و مواد غذایی موجود در خاک است. در میان گیاهان زراعی، حبوبات توانایی و قابلیت سازگاری زیادی در الگوهای کاشت مختلف دارند و می‌توانند ظرفیت تولید را افزایش دهند (Banik et al., 2006). کشت مخلوط حبوبات با گیاهان غیرحبوبات علاوه‌بر استفاده صحیح و بهینه و عادلانه از منابع مثل زمین و نیروی کار، باعث افزایش بهره‌وری در واحد سطح و تقویت بهره‌وری کل در واحد سطح و زمان شد (Najafi & Keshtegar, 2014).

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استادیار و دانشیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.
(*- نویسنده مسئول: raftari.elham@gonbad.ac.ir)

همه عناصر غذایی موجود در کودهای مصرف شده مزارع ممکن است در طول دوره رشد گیاه مورد استفاده قرار نگیرند (Fallah, 2011)، به‌طوری‌که امروزه آلودگی منابع آبی توسط نیترات حاصل از زراعت‌های فشرده و به‌کارگیری کودهای نیتروژنه به‌عنوان مشکلی بسیار مهم در سرتاسر دنیا محسوب می‌شود (Choi et al., 2007). آچاکزی و بنگلزای (Achakzai & Bangulzai., 2006) با بررسی تأثیر مقادیر صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بر تولید غلاف در ژنوتیپ‌های مختلف نخودفرنگی گزارش کردند که حداکثر عملکرد غلاف تر با ۱۱۹۰۹ کیلوگرم در هکتار از تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد.

برای تشریح رقابت و سودمندی اقتصادی سیستم کشت مخلوط، شاخص‌هایی چون نسبت برابری زمین[1]، ضریب نسبی تراکم[2]، شاخص غالبیت[3]، نسبت رقابتی[4]، کاهش واقعی عملکرد[5]، سودمندی کشت مخلوط[6]، عملکرد معادل[7] و بهره‌وری سیستم[8] (Dhima et al., 2007) مورد استفاده قرار می‌گیرند.

نسبت برابری زمین، نسبت زمین لازم برای تک‌کشتی را در مقایسه با کشت مخلوط توصیف می‌کند. اگر نسبت برابری زمین بیش از یک باشد، کشت مخلوط بر تک‌کشتی مزیت دارد. اگر کم‌تر از یک باشد، کشت خالص ترجیح داده می‌شود و اگر مساوی یک باشد، کشت مخلوط با تک کشتی یکسان می‌باشد (Mazaheri, 1998). در بررسی کشت مخلوط جایگزین ذرت (*Zea mays*) و ماش سبز (*Vigna radiata*) برتری خاصی بر کشت خالص از نظر نسبت برابری زمین نشان نداد، امّا در کشت مخلوط افزایشی نسبت برابری زمین بیش از یک بود (Nakhzari Moghaddam et al., 2009).

ضریب نسبی تراکم غلبه نسبی یک گیاه را بر گیاه دیگر در کشت مخلوط نشان می‌دهد (Banik et al., 2006). اگر ضریب نسبی تراکم بیش از یک باشد، کشت مخلوط سودمند است، اگر کم‌تر از یک باشد، سودمند نیست و اگر برابر یک باشد، در کشت مخلوط حالت موازنه یا تعادل برقرار است (Dhima et al., 2007).

1- Land Equivalent Ratio (LER)
2- Relative Crowding Coefficient (RCC)
3- Aggressivity (A)
4- Competitive Ratio (CR)
5- Actual Yield Loss (AYL)
6- Intercropping Advantage (IA)
7- Equivalent Yield (EY)
8- System productivity index (SPI)

با استفاده از شاخص غالبیت، رابطه رقابتی بین دو گیاه در کشت مخلوط تعیین می‌شود (Willey, 1979). اگر این ضریب برابر صفر باشد، نشان می‌دهد که بین دو گونه هیچ رقابتی وجود ندارد. علامت‌های مثبت و منفی به‌ترتیب نشان‌دهنده غالب و مغلوب بودن گونه‌ها است (Mazaheri, 1998). در تمام الگوهای کشت مخلوط ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.) و گندم (*Triticum aestivum* L) شاخص غالبیت ماشک گل‌خوشه‌ای مثبت و شاخص غالبیت گندم منفی بود (Atis et al., 2012). در بررسی غلات (ذرت، سورگوم و ارزن) گیاه غالب و بادام زمینی گیاه مغلوب در سیستم کشت مخلوط بود (Ghosh, 2004).

نسبت رقابتی در مقایسه با ضریب نسبی تراکم و غالبیت، شاخص بهتری برای تعیین توانایی رقابت گیاهان است (Dhima et al., 2007). جو در کشت مخلوط با نخودفرنگی، بالاترین توانایی رقابت برای جذب عناصر غذایی در مقایسه با نخودفرنگی را داشت (Banik et al., 2006). با بررسی شاخص‌های رقابتی و اقتصادی کشت مخلوط کلزا (*Brassica napus* L.) و نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) تحت سری‌های جایگزین در سطوح نیتروژن نشان داده شد که عملکرد از دست رفته واقعی، شاخص تولید سیستم و شاخص‌های اقتصادی شامل مزیت پولی و مزیت مخلوط برای همه نسبت‌ها مثبت شد و نسبت برابری زمین و ضریب نسبی تراکم برای تمام نسبت‌های مخلوط بیش از یک به‌دست آمد که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی هر یک از دو گیاه بود. مثبت بودن مقادیر شاخص غالبیت و بزرگ‌تر از یک بودن مقادیر نسبت رقابت برای گیاه کلزا بیانگر برتری رقابتی کلزا نسبت به نخودفرنگی یا استفاده بهتر از نهاده‌ها در کشت مخلوط بود (Fallah et al., 2014).

برای تعیین رقابت درون و برون گونه‌ای گیاهان و رفتار هر گونه در سیستم کشت مخلوط از کاهش (یا سودمندی) عملکرد واقعی نیز استفاده می‌شود. این شاخص، اطلاعات حقیقی بیش‌تری در مورد رقابت نسبت به شاخص‌های دیگر می‌دهد. علامت مثبت، نشان‌دهنده افزایش عملکرد واقعی و علامت منفی، نشان‌دهنده کاهش عملکرد واقعی کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی می‌باشد. عملکرد واقعی ذرت و لوبیا در کشت مخلوط ۵۰ درصد لگوم (لوبیا و نخود) و ۱۰۰ درصد ذرت کاهش نشان داد، در حالی‌که در کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود و ۵۰ درصد ذرت، عملکرد واقعی ذرت افزایش و عملکرد واقعی نخود کاهش یافت (Yimaz et al., 2008).

در تعیین سودمندی کشت مخلوط، علامت مثبت نشانه سودمندی اقتصادی کشت مخلوط و علامت منفی نشان‌دهنده کاهش سودمندی اقتصادی کشت مخلوط می‌باشد. محققین

گزارش کردند که بالا بودن مقادیر نسبت برابری زمین و ضریب نسبی تراکم در تیمارهای کشت مخلوط بیانگر سودمندی اقتصادی سیستم کشت مخلوط بوده و سبب افزایش مقادیر شاخص سودمندی می‌شود (Lithourgidis et al., 2011).

برای تعیین عملکرد معادل کشت مخلوط از قیمت گیاهان استفاده می‌شود. عملکرد معادل جو در کشت مخلوط دو ردیف بادام‌زمینی و یک ردیف جو با ۲۰/۶ تن در هکتار نسبت از سایر تیمارهای کشت مخلوط بیش‌تر بود (Awal et al., 2007).

شاخص دیگری که معمولاً در ارزیابی اقتصادی سیستم‌های کشت مخلوط کاربرد دارد، شاخص بهره‌وری سیستم است که داده‌های آن با استاندارد کردن محصول زراعت ثانوی بر مبنای محصول زراعت اصلی محاسبه می‌گردد (Agegnehu et al., 2006). در بررسی لامعی هراتی (Lamei Heravani, 2013)، بیش‌ترین مقدار شاخص بهره‌وری سیستم با ۲/۹۲ مربوط به کشت مخلوط ۷۵ درصد نخود علوفه‌ای و ۲۵ درصد جو بود.

با توجه به محدودیت تولید اراضی کشور به‌دلیل حاصلخیزی و بارندگی کم و تأثیر مثبت کشت مخلوط بر تولید گیاهان زراعی که باعث می‌شود از مساحت کمتر محصول و درآمد بیشتری داشت و با توجه به اینکه در رابطه با کشت مخلوط نخودزراعی و کینوا، تحقیقی در ایران انجام نشده است، این بررسی با هدف تعیین مناسب‌ترین تیمار کشت خالص، مخلوط جایگزین یا افزایشی نخودزراعی و کینوا از نظر عملکرد و ارزیابی شاخص‌های رقابت در کشت مخلوط جایگزین و افزایشی نخودزراعی و کینوا در منطقه گنبد کاووس انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گنبدکاووس به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ آورده شده است.

عامل نیتروژن در سه سطح شامل عدم مصرف و مصرف ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع اوره و الگوی کاشت در نه سطح شامل کشت خالص نخودزراعی، کشت مخلوط جایگزین ۶۷ درصد نخودزراعی و ۳۳ درصد کینوا، کشت مخلوط جایگزین ۵۰ درصد نخودزراعی و ۵۰ درصد کینوا، کشت مخلوط جایگزین ۳۳ درصد نخودزراعی و ۶۷ درصد کینوا، کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد نخودزراعی و ۳۳ درصد کینوا، کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد نخودزراعی و ۵۰ درصد کینوا، کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد نخودزراعی و ۶۷ درصد کینوا، کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد نخودزراعی و ۱۰۰ درصد کینوا و کشت خالص کینوا بودند. یکی از معایب کشت مخلوط، تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاهان است. کینوا گیاهی است که برای رشدونمو نیاز به نیتروژن دارد، امّا نخود بخش اعظم نیاز خود به نیتروژن را از طریق همزیستی تأمین می‌کند، لذا حداکثر مقدار نیتروژن بیش از نیاز نخود و کمتر از نیاز کینوا انتخاب شد. در این بررسی از رقم آزاد نخودزراعی که از خصوصیات بارز این رقم علاوه‌بر پرمحصولی، تحمل در برابر بیماری برقزدگی، تیپ بوته ایستاده و صفت دانه درشتی است و رقم Titicaca کینوا که رقمی زودرس، قهوه‌ای رنگ، مقاوم به شوری و خشکی است، استفاده شد. تعداد ردیف‌های کاشت در کشت خالص چهار خط، کشت مخلوط جایگزین ۵۰ درصد چهار خط به‌صورت نخودزراعی-کینوا- نخودزراعی- کینوا، کشت مخلوط جایگزین ۶۷ درصد نخودزراعی و ۳۳ درصد کینوا و ۳۳ درصد نخودزراعی و ۶۷ درصد کینوا پنج خط به‌صورت کینوا- نخودزراعی- نخودزراعی– کینوا- نخودزراعی و کینوا- نخودزراعی- کینوا- کینوا- نخودزراعی و در کشت مخلوط افزایشی هشت خط به‌صورت یک در میان به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از هم بود. طول هر کرت چهار متر و عمق کاشت بذر نخودزراعی حدود سه سانتی‌متر و کینوا یک سانتی‌متر بود. کشت به‌صورت کپه‌ای و در هر کپه نخود سه بذر و کینوا پنج تا شش بذر کاشته شد که پس از رشد کافی و رفع خطر تغذیه پرندگان فقط یک بوته باقی گذاشته شد. فواصل بین کرت‌ها یک متر و فواصل بین بلوک‌ها یک و نیم متر در نظر گرفته شد. در زمان کاشت، ۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار مصرف گردید. کشت در اواخر آذر ماه ۱۳۹۹ انجام شد. کود نیتروژن خالص (با منشأ اوره ۴۶ درصد) با توجه به میزان تعیین شده در تیمارها به‌صورت پایه و سرک (هر یک ۵۰ درصد) مصرف شد. کود سرک در زمان پر شدن دانه نخودزراعی همزمان با کاهش تثبیت نیتروژن مصرف شد. در کشت خالص، فاصله بوته روی ردیف برای نخودزراعی و کینوا ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در طول دوره رشد، با علف‌های هرز به‌صورت مکانیکی (وجین دستی) مبارزه شد. برای کنترل آفات از سم دیازینون به‌مقدار یک لیتر در هکتار همراه با استامی‌پراید به‌مقدار ۰/۳۷۵ کیلوگرم در هکتار در دو نوبت (شروع غلاف‌دهی و شروع پر شدن دانه نخود) و برای کنترل بیماری‌ها از سم داکونیل به‌مقدار دو کیلوگرم در هکتار در یک نوبت (گل‌دهی) در ۲۰۰ لیتر آب استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات خاک مزرعه در عمق صفر تا سی سانتی‌متر
Table 1- Soil characteristics of Gonbad Kavous University farm in the range of test

عمق نمونه‌برداری Depth of sample (cm)	ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	اسیدیته pH -	پتاسیم K (mg.kg^{-1})	فسفر P (mg.kg^{-1})	نیتروژن N (%)
0-30	0.78	0.77	7.94	409	11	0.08

برای تعیین عملکرد، ردیف‌های حاشیه و نیم متر از دو طرف ردیف‌های وسط حذف و بقیه برداشت گردید. سطح برداشت در تیمارهای کشت خالص، افزایشی و جایگزین ۵۰:۵۰ برابر ۲/۴ مترمربع و در تیمارهای کشت مخلوط ۲:۱ و ۱:۲ برابر ۳/۶ مترمربع بود. در تیمارهای کشت مخلوط، نسبت برابری زمین نخودزراعی و کینوا به‌طور مجزا محاسبه و سپس با هم جمع گردید (Agegnehu et al., 2006). برای محاسبه عملکرد معادل، نخودزراعی به‌عنوان گیاه اصلی و کینوا به‌عنوان گیاه همراه در نظر گرفته شد، لذا عملکرد معادل نخودزراعی تیمارها محاسبه شد. همچنین، برای بررسی رقابت و سودمندی اقتصادی کشت مخلوط از معادله‌های جدول ۲ استفاده شد:

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS Ver. 9.4 انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

مقایسه میانگین تأثیر نیتروژن و الگوی کاشت بر عملکرد دانه و عملکرد معادل نخودزراعی

عملکرد دانه

اثر الگوی کاشت و نیتروژن بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل الگوی کاشت × نیتروژن مصرفی بر این صفت تأثیرگذار نبود (جدول ۳). مقایسه عملکرد دانه در تیمارهای الگوی کاشت نشان داد که حداکثر عملکرد دانه کل به تیمار کشت خالص نخودزراعی با ۳۵۲۹ کیلوگرم در هکتار تعلق داشت که با تیمار ۶۷ درصد نخودزراعی + ۳۳ درصد کینوا اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). این امر به‌دلیل عملکرد بالای نخودزراعی نسبت به کینوا اتفاق افتاد. در تیمارهای کشت مخلوط هم عملکرد دو گیاه نسبت به کشت خالص افزایش زیادی نداشت که بتواند بیش از کشت خالص نخودزراعی محصول تولید کند. گیاه نخودزراعی به‌دلیل داشتن همکاری با باکتری *ریزوبیوم* و خاصیت تثبیت نیتروژن توسط این باکتری می‌تواند تا حدودی نیتروژن مورد نیاز خود را تأمین کند. هنگامی که گیاه نخود به‌طور خالص کشت می‌شود، نیتروژن تثبیتی توسط باکتری تقریباً به‌طور کامل در اختیار خود گیاه قرار می‌گیرد که این امر در مقایسه با کشت مخلوط برتری خوبی برای افزایش تولید در کشت خالص می‌باشد. کشت مخلوط جو و باقلا باعث افزایش عملکرد کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی شد (Agegnehu et al., 2006). با بررسی کشت مخلوط لوبیا به ذرت، افزایش عملکرد کل با افزایش درصد لوبیا به ذرت در کشت مخلوط افزایشی گزارش شد (Morgado & Willey, 2006). بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه نخودزراعی از تیمارهای مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار و عدم کاربرد کود نیتروژن به‌ترتیب با ۳۰۹۵ و ۲۲۳۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵). با وجود اینکه نخودزراعی یک گیاه تثبیت‌کننده نیتروژن اتمسفر است، نیتروژن تأثیر زیادی بر عملکرد داشت. با ورود گیاه نخود به فاز زایشی گیاه، مواد غذایی تولیدی توسط اندام‌های هوایی را که قبلاً بخشی از آن را در اختیار گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن قرار می‌داد را به‌طور کامل برای تولید اندام اقتصادی خود صرف می‌کند. این امر باعث می‌شود که ارتباط بین گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و گیاه قطع شده و گیاه به نیتروژن احتیاج پیدا کند. ازاین‌رو، دادن کود نیتروژن به نخود در این مرحله باعث افزایش عملکرد گیاه می‌گردد. در خصوص کشت مخلوط وقتی گیاهی غیر از گیاه لگوم در کنار گیاه لگوم کشت می‌شود از نیتروژن تثبیتی توسط گیاه لگوم استفاده می‌نماید. با توجه به این رخداد، دادن کود نیتروژن در کشت مخلوط برای حصول عملکرد مطلوب امری اجتناب‌ناپذیر است. این امر بیانگر عدم تأمین کافی نیتروژن از طریق تثبیت بیولوژیک است. تأثیر مثبت افزایش مصرف نیتروژن بر وزن خشک علوفه ذرت با بررسی مقادیر صفر، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به عدم مصرف کود گزارش شده است (Baser Kouchebagh et al., 2012). مورگانو و ویلی (Morgado & Willey, 2006) با بررسی کشت مخلوط لوبیا و ذرت بیان داشتند که با افزایش مصرف کود نیتروژن در کشت مخلوط، عملکرد دو گیاه به‌طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به تیمار عدم مصرف نیتروژن بهبود یافت.

جدول ۲- شاخص‌های رقابت و معادلات آن‌ها در کشت مخلوط

Table 2- Competition indices and their equations in intercropping

شاخص **Index**	معادله **Equation**
نسبت برابری زمین Land Equivalent Ratio	LER= (Yab / Yaa) + (Yba / Ybb)
ضریب نسبی تراکم Relative Crowding Coefficient برای گیاه a	K = Ka × Kb $Ka = \frac{(Yab \times Zba)}{(Yaa - Yab)(Zab)}$
غالبیت Aggressivity غالبیت برای گیاه a Aa	Aa= (Yab / Yaa × Zab) – (Yba / Ybb × Zba)
نسبت رقابتی Competitive Ratio نسبت رقابتی a CRa نسبت رقابتی b CRb	CRa = (LERa / LERb) × (Zba / Zab) CRb = (LERb / LERa) (Zab / Zba)
کاهش یا سودمندی عملکرد واقعی Actual Yield Loss برای گیاه a AYLa	AYL = AYLa + AYLb AYLa = ((Yab / Zab) / (Yaa / Zaa)) – 1
سودمندی کشت مخلوط Intercropping Advantage برای گیاه a IAa	IA= IAa + IAb IAa = AYLa × Pa
عملکرد معادل Equivalent Yield عملکرد معادل گیاه b EYb	EYb = Yb + Yaa × (Pa / Pb)
شاخص بهره‌وری سیستم System productivity index	SPI = (Sa / Sb) × Yb + Ya

Zab: نسبت گیاه a در کشت مخلوط، Zba: نسبت گیاه b در کشت مخلوط، Zaa: نسبت گیاه a در کشت خالص، Zbb: نسبت گیاه b در کشت خالص، Pa: قیمت محصول گیاه a، Sa: عملکرد متوسط گیاه a در کشت خالص، Ya: عملکرد متوسط گیاه a در کشت مخلوط، Yab: عملکرد گیاه a در کشت مخلوط، Yaa: عملکرد گیاه a در کشت خالص، Yba: عملکرد گیاه b در کشت مخلوط، Ybb: عملکرد گیاه b در کشت خالص، Pb: قیمت محصول گیاه b، Sb: عملکرد متوسط گیاه b در کشت خالص، Yb: عملکرد متوسط گیاه b در کشت مخلوط

Zab: The ratio of plant a in mixed crop, Zba: The ratio of plant b in mixed crop, Za: The ratio of plant a in sole crop, Zbb: The ratio of plant b in sole crop, P: Plant product price a, Sa: Average yield of plant a in sole crop, Ya: Average yield of plant a in mixed crop, Yab: The yield of plant a in mixed crop, Yaa: The yield of plant a in sole crop, Yba: The yield of plant a in mixed crop, Ybb: The yield of plant b in sole crop, Pb: Plant product price b, Sb: Average yield of plant b in sole crop and Yb: Average yield of plant b in mixed crop

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد دانه و عملکرد معادل نخودزراعی تحت تأثیر الگوی کاشت و نیتروژن

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of grain yield and pea equivalent yield under planting pattern and nitrogen

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد معادل نخودزراعی Chickpea equivalent yield
تکرار Replication	2	135994	1077308
الگوی کاشت Planting pattern (P)	8	3526393**	32607117**
نیتروژن Nitrogen (N)	2	5063809**	24287811**
نیتروژن × الگوی کاشت P × N	16	47640ns	193393ns
خطا Error	52	123893	550445
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	13.03	11.86

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود تفاوت معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: Non significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد و عملکرد معادل نخودزراعی تحت تأثیر الگوی کاشت

Table 4- Mean comparison for yield and chickpea equivalent yield under planting pattern

صفات Traits / الگوی کاشت Planting pattern	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد معادل نخودزراعی (کیلوگرم در هکتار) Chickpea equivalent yield ($kg.ha^{-1}$)
کشت خالص نخودزراعی Sole cropped of chickpea	3529a*	3529f
۶۷٪ نخودزراعی + ۳۳٪ کینوا 67% chickpea + 33% quinoa	3316ab	6346d
۵۰٪ نخودزراعی + ۵۰٪ کینوا 50% chickpea + 50% quinoa	3071bc	7342c
۳۳٪ نخودزراعی + ۶۷٪ کینوا 33% chickpea + 67% quinoa	2857c	8126b
۱۰۰٪ نخودزراعی + ۳۳٪ کینوا 100% chickpea + 33%quinoa	1532f	3551f
۱۰۰٪ نخودزراعی + ۵۰٪ کینوا 100% chickpea + 50% quinoa	2113e	5088e
۱۰۰٪ نخودزراعی + ۶۷٪ کینوا 100% chickpea + 67% quinoa	2473d	6063d
۱۰۰٪ نخودزراعی + ۱۰۰٪ کینوا 100% chickpea +100% quinoa	2979c	7386c
کشت خالص کینوا Sole cropped of quinoa	2441de	8876a
LSD (%5)	333	701.8

* حروف غیر مشابه در ستون‌های عملکرد و عملکرد معادل، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

* Different alphabet in yield and equivalent yield columns indicate significant difference at $p \leq 0.05$ based on LSD.

عملکرد معادل نخودزراعی

کم‌ترین عملکرد معادل نخودزراعی مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۳۳ درصد کینوا به نخودزراعی با ۳۵۵۱ کیلوگرم در هکتار و بیش‌ترین آن مربوط به کشت خالص کینوا با ۸۸۷۶ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴). عملکرد معادل نخودزراعی در تیمارهای کشت مخلوط به‌خصوص کشت‌های مخلوط افزایشی نسبت به کشت خالص نخودزراعی افزایش نشان داد. عامل اصلی بالا بودن عملکرد معادل نخودزراعی در کشت مخلوط بالا بودن عملکرد نخود زراعی بود. قیمت کینوا ۳۶۴ درصد (۳/۶۴ برابر) بیش از نخود زراعی بود. بالا بودن عملکرد معادل یک گیاه (جو) نسبت به گیاه دیگر (نخودفرنگی) را می‌توان به سازگاری گیاه جو و تولید عملکرد بالا در این گیاه نسبت به گیاه نخودفرنگی نسبت داد (Nakhzari Moghaddam et al., 2016).

بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد معادل نخودزراعی به‌ترتیب با ۷۰۸۲ و ۵۲۲۰ کیلوگرم در هکتار با مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص و عدم مصرف نیتروژن به‌دست آمد (جدول ۵). مصرف نیتروژن تأثیر مثبتی بر عملکرد معادل داشت.

نسبت برابری زمین

نسبت برابری زمین در تمام تیمارهای کشت مخلوط افزایشی و تیمارهای کشت مخلوط جایگزین بالاتر از یک بود. حداکثر نسبت برابری زمین متعلق به تیمار ۱۰۰ درصد نخودزراعی + ۶۷ درصد کینوا با ۱/۱۰ بود (جدول ۶). حداکثر نسبت برابری زمین نخودزراعی متعلق به تیمار ۱۰۰ درصد نخودزراعی + ۳۳ درصد کینوا با ۰/۶۹و حداقل نسبت برابری زمین نخودزراعی مربوط به تیمار ۳۳ درصد نخودزراعی + ۶۷ درصد کینوا با ۰/۲۵بود و همچنین حداکثر نسبت برابری زمین کینوا متعلق به تیمار۳۳ درصد نخودزراعی + ۶۷ درصد کینوا با ۰/۸۲ و حداقل نسبت برابری زمین کینوا به تیمار ۱۰۰ درصد نخودزراعی + ۳۳ درصد کینوا با ۰/۳۱ تعلق داشت. بالا بودن نسبت برابری زمین در کشت مخلوط به این دلیل می‌باشد که از یک قطعه زمین تعیین شده دو عملکرد به‌دست می‌آید که ممکن است از نظر عملکرد و اقتصادی یا دیگر دلایل، برتری مطلوبی نسبت به کشت خالص داشته باشد. در بررسی حاضر برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در حد ۱۰ درصد بود که با نتایج بررسی حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2003) که بالاترین مقدار LER با ۱/۳۷ از تیمار کشت مخلوط ۵۰ درصد ارزن و ۵۰ درصد لوبیا چشم بلبلی و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم اوره گزارش شد، مطابقت دارد. در بررسی کشت مخلوط کدوی تخم کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) با کنجد و ماش (*Vigna radiata* L. R. Wilczek.)، مقدار LER در تمام تیمارها بالاتر از یک بود (Rastgoo et al., 2015).

ضریب نسبی تراکم

ضریب نسبی تراکم نخودزراعی در تیمار ۶۷ درصد نخودزراعی + ۳۳ درصد کینوا حداکثر و برابر با ۰/۸۴ و حداکثر ضریب نسبی تراکم کینوا متعلق به تیمار ۳۳ درصد نخودزراعی + ۶۷ درصد کینوا با ۲/۲۸ بود. ضریب نسبی تراکم کل در تمام تیمارها بیش از یک بود. ضریب نسبی تراکم از نظر عددی کوچک بود که به نظر می‌رسد در کشت مخلوط این دو گیاه نمی‌توان تراکم را خیلی زیاد در نظر گرفت، هرچند می‌شود که تراکم کینوا را کمی بیشتر در نظر گرفت. هدف از کشت مخلوط، به‌دست آوردن عملکرد بیش‌تر و دست‌یابی به سود بالاتر است. یکی از ارکان اصلی رسیدن به این هدف مهم، تعیین مطلوب‌ترین تراکم برای کشت دو گیاه می‌باشد. هرچه تراکم بالاتر باشد، به‌دلیل ایجاد رقابت برای دریافت نور و سایر مواد غذایی، عملکرد کل کاهش پیدا می‌کند. در حالت عکس هم هرچه تراکم کم‌تر در نظر گرفته شود، به‌دلیل کاهش بوته در مترمربع، عملکرد نهایی کاهش پیدا می‌کند. مطلوب‌ترین تراکم، تراکمی است که کم‌ترین رقابت درون گونه‌ای و برون گونه را ایجاد کند و دو گیاه از مجاورت هم سود ببرند. لامعی‌هراونی (Lamei Heravani, 2012) در تحقیقی که برای ارزیابی فنی و اقتصادی کشت مخلوط خلر با جو و تریتیکاله انجام داد، گزارش کرد که مقادیر ضریب نسبی تراکم جو و تریتیکاله در تمامی تیمارهای کشت مخلوط بیش از ضریب نسبی تراکم گیاه علوفه‌ای خلر بود.

شاخص غالبیت

نتایج حاصل از محاسبه شاخص چیرگی (غالبیت) نشان داد که کینوا در تیمارهای کشت مخلوط افزایشی و تیمار کشت مخلوط جایگزین گیاه غالب بود در نتیجه، علامت چیرگی کینوا با وجود مطلوب بودن عملکرد هر دو گیاه مثبت شد (جدول ۶). به نظر می‌رسد در تیمارهای کشت مخلوط افزایشی با تراکم کم کینوا، این گیاه از منابع رشدی از جمله فضا به‌خوبی استفاده کرد و نسبت به فضای اشغال شده عملکرد بیشتری تولید کرد که نتیجه آن غالبیت کینوا بر نخودزراعی بود. هنگامی که یک گیاه غیر لگوم در مجاورت گیاه لگوم در کشت مخلوط قرار می‌گیرد؛ علاوه‌بر کودی که به‌صورت سرک داده می‌شود، می‌تواند از نیتروژن تثبیت شده توسط گیاه لگوم نیز حداکثر استفاده را ببرد و شاخص غالبیت بالاتری داشته باشد. در کشت مخلوط جو و نخود فرنگی، جو (به‌دلیل ارتفاع بسیار زیاد نسبت

به نخود فرنگی) گیاه غالب و نخود فرنگی گیاه مغلوب بود (Banik et al., 2006). نخزری‌مقدم و همکاران (Nakhzari Moghaddam et al., 2016) با بررسی کشت مخلوط جو و نخود فرنگی مشاهده کردند که گیاه جو گیاه غالب و نخود فرنگی گیاه مغلوب بود. نتایج بررسی رفتاری و همکاران (Raftari et al., 2018) نشان داد که نخودفرنگی در تیمارهای افزایشی و تیمار جایگزین ۶۷ درصد نخود فرنگی و ۳۳ درصد کاهو گیاه غالب بود در نتیجه، علامت غالبیت نخودفرنگی مثبت شد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر نیتروژن بر عملکرد کل و عملکرد معادل نخودزراعی

Table 5- The mean comparisons for effect of nitrogen on total yield and equivalent chickpea yield

نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen (kg.ha-1) / صفات Traits	عملکرد کل (کیلوگرم در هکتار) Total yield (kg.ha-1)	عملکرد معادل نخودزراعی (کیلوگرم در هکتار) Equivalent chickpea yield (kg.ha-1)
0	2238c*	5220c
25	2771b	6467b
50	3095a	7082a
LSD (%5)	192.2	405.2

* حروف غیر مشابه در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

* Different alphabet in each column indicate significant difference at p≤0.05 based on LSD.

جدول ۶- مقایسه نسبت برابری زمین، ضریب نسبی تراکم و شاخص غالبیت نخودزراعی و کینوا در آرایش‌های مختلف کاشت

Table 6- Comparison of land equivalent ratio, relative crowding coefficient and aggressivity of chickpea and quinoa under different intercropping arrangements

شاخص Index	نسبت برابری زمین Land equivalent ratio			ضریب نسبی تراکم Relative crowding coefficient			غالبیت Aggressivity	
تیمار Treatment	نخودزراعی Chickpea	کینوا Quinoa	کل Total	نخودزراعی Chickpea	کینوا Quinoa	کل Total	نخودزراعی Chickpea	کینوا Quinoa
۶۷٪ نخودزراعی + ۳۳٪ کینوا 67% chickpea + 33% quinoa	0.63	0.47	1.09	0.84	1.77	1.48	-0.47	0.47
۵۰٪ نخودزراعی + ۵۰٪ کینوا 50% chickpea + 50% quinoa	0.42	0.66	1.09	0.73	1.97	1.45	-0.48	0.48
۳۳٪ نخودزراعی + ۶۷٪ کینوا 33% chickpea + 67% quinoa	0.25	0.82	1.07	0.68	2.28	1.55	-0.47	0.47
۱۰۰٪ نخودزراعی + ۳۳٪ کینوا 100% chickpea + 33% quinoa	0.69	0.31	1.01	0.74	1.35	1.00	-0.32	0.32
۱۰۰٪ نخودزراعی + ۵۰٪ کینوا 100% chickpea+ 50% quinoa	0.60	0.46	1.06	0.75	1.74	1.31	-0.50	0.50
۱۰۰٪ نخودزراعی + ۶۷٪ کینوا 100% chickpea + 67% quinoa	0.54	0.56	1.10	0.78	1.91	1.50	-0.50	0.50
۱۰۰٪ نخودزراعی + ۱۰۰٪ کینوا 100% chickpea + 100% quinoa	0.41	0.68	1.09	0.69	2.17	1.49	-0.56	0.56

نسبت رقابتی

بالاترین نسبت رقابتی مربوط به کینوا از تیمار ۱۰۰ درصد نخودزراعی + ۱۰۰ درصد کینوا با ۱/۶۸ به‌دست آمد (جدول ۷). بررسی نسبت رقابتی نخودزراعی و کینوا نشان داد که در تمام تیمارها، کینوا قدرت رقابتی بیش‌تری نسبت به نخودزراعی داشت. گیاهان برای به‌دست آوردن مواد غذایی به‌طور مداوم در حال رقابت با سایر گیاهان هستند. این امر به‌طور طبیعی باعث می‌شود که گیاه برای دست‌یابی به مواد غذایی به‌طور مداوم به توسعه ریشه و دیگر اندام‌های جاذب مواد غذایی بپردازد. گیاه نخود به‌دلیل فراهم بودن مواد غذایی در کنار ریشه به‌واسطه حضور باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن نیاز

چندانی به توسعه ریشه و رقابت با دیگر گیاهان ندارد، امّا در طرف مقابل، گیاه کینوا به‌دلیل نداشتن چنین ویژگی منحصربه‌فردی باید برای ادامه حیات خود، اندام‌های جاذب مواد غذایی را توسعه دهد. این امر باعث می‌شود که کینوا بتواند به‌طور مؤثرتری با سایر گیاهان رقابت کند و نسبت رقابتی بالاتری نسبت به نخود داشته باشد. تفاوت در نسبت رقابتی گیاهان توسط بانیک و همکاران (Banik et al., 2006) نیز گزارش شده است. بررسی نسبت رقابتی جو و نخودفرنگی بیانگر توانایی رقابتی بیش‌تر جو نسبت به نخودفرنگی بود. این نسبت در تیمار کشت مخلوط ۷۵ درصد جو و ۲۵ درصد نخود فرنگی و ۵۰ درصد جو و ۵۰ درصد نخود فرنگی بیش از ۲۵ درصد جو و ۷۵ درصد نخود فرنگی بود (Nakhzari Moghaddam et al., 2016). بررسی نسبت رقابتی نخودفرنگی و کاهو نشان داد که در تیمارهای افزایشی و تیمار جایگزین ۶۷ درصد نخودفرنگی و ۳۳ درصد کاهو، کاهو نسبت رقابتی بیش‌تری نسبت به نخودفرنگی داشت. همچنین، بالاترین نسبت رقابتی مربوط به کاهو از تیمار ۱۰۰ درصد نخودفرنگی + ۱۰۰ درصد کاهو با ۱/۵۱ به‌دست آمد (Raftari et al., 2018).

کاهش یا سودمندی عملکرد واقعی

بررسی شاخص کاهش (سودمندی) عملکرد واقعی نشان داد که کاهش عملکرد واقعی فقط در تیمار جایگزین ۳۳ درصد نخودزراعی و ۶۷ درصد کینوا منفی بود و در بقیه تیمارها مثبت بود (جدول ۷). با توجه به نتایج به‌دست آمده، افزایش تراکم دو گیاه در کشت مخلوط برای به‌دست آوردن حداکثر عملکرد، مطلوب به نظر نمی‌رسد، به این دلیل که با افزایش تراکم دو گیاه فقط رقابت بین آن‌ها افزایش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر، افزایش تراکم در واحد سطح منجر به کاهش عملکرد در هر بوته شد. در کشت خالص، عملکرد نهایی صرفاً مربوط به همان گیاه است که تا حصول عملکرد ممکن است تحت تأثیر عوامل زیادی از جمله آفات و بیماری‌ها، خشکسالی، سرمازدگی و دیگر عوامل قرار گیرد. این عوامل اگر کنترل نشوند باعث کاهش عملکرد نهایی خواهند شد. از آنجا که نیاز غذایی و عوامل خسارت‌زا در گیاهان مختلف با یکدیگر تفاوت دارد، پس کشت دو گیاه از دو خانوده متفاوت می‌تواند سودمند باشد. به این صورت که اگر یکی از گیاهان به دلایل ذکر شده دچار خسارت شود، گیاه همراه می‌تواند با عملکرد مطلوب خود، کاهش عملکرد دیگری را جبران کند. لامعی هراتی (Lamei Heravani, 2012) با بررسی کشت مخلوط خلر با جو و تریتیکاله اعلام کردند که در کلیه تیمارهای کشت مخلوط، مقادیر کاهش عملکرد واقعی گیاهان جو و تریتیکاله مثبت بود که نشان‌دهنده آن است که محصول واقعی این گیاهان در کشت مخلوط بیش از محصول پیش‌بینی شده بود، بیش‌ترین کاهش عملکرد واقعی مربوط به گیاه خلر بود که از تیمار کشت مخلوط ۲۵ درصد جو و ۷۵ درصد خلر به مقدار ۰/۱۷۱- به‌دست آمد.

سودمندی کشت مخلوط

با بررسی این شاخص مشاهده گردید که کشت مخلوط نخودزراعی و کینوا باعث افزایش سودمندی اقتصادی کشت مخلوط گردید. بیش‌ترین سودمندی اقتصادی کشت مخلوط مربوط به گیاه کینوا با ۱۶۴۸۷ و کم‌ترین آن مربوط به گیاه نخودزراعی با ۲۶۵۱- بود که از تیمار کشت مخلوط جایگزین ۳۳ درصد نخودزراعی + ۶۷ درصد کینوا حاصل شد (جدول ۷). هنگامی که دو گیاه در مجاورت یکدیگر کشت می‌شوند از منابع غذایی به‌طور مطلوبی استفاده می‌کنند. دو گیاه نخودزراعی و کینوا به‌دلیل داشتن الگوی رشدی مختلف می‌توانند از مواد غذایی در عمق‌های مختلف خاک استفاده کنند. نخود ریشه‌های سطحی زیادی دارد و کینوا دارای ریشه عمقی است که این امر در سودمندی کشت مخلوط تأثیر به‌سزایی دارد. در آزمایشی که به‌منظور ارزیابی عملکرد و شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط جو و ماشک گل‌خوشه‌ای انجام شد، گزارش گردید که کشت مخلوط سودمندی اقتصادی داشت. بیش‌ترین میزان سودمندی کشت مخلوط متعلق به تیمار افزایشی ۱۰۰:۱۵ با ۴/۴۱ بود (Ahmadi et al., 2010).

شاخص بهره‌وری سیستم

در تمام تیمارهای کشت مخلوط، شاخص بهره‌وری سیستم بالا بود. این شاخص در تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد نخودزراعی + ۶۷ درصد کینوا حداکثر و برابر ۳۸۸/۴ بود (جدول ۷). کم‌ترین مقدار این شاخص به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد نخودزراعی + ۳۳ درصد کینوا با ۳۵۳/۱ تعلق داشت. این امر بیانگر سودمندی بالای کشت مخلوط نخودزراعی و کینوا در این نسبت کشت است. شاخص بهره‌وری سیستم به‌میزان تولید محصول در مقابل هزینه‌های مربوط به تولید اطلاق می‌گردد. هرچه هزینه‌های تولید پایین‌تر و عملکرد محصول بالاتر باشد، شاخص بهره‌وری سیستم بالاتر خواهد بود. در کشت مخلوط نخود و کینوا هرچه تعداد بوته کشت شده از گیاه دوم بیش‌تر باشد، در نتیجه عملکرد نهایی هم بالاتر خواهد بود. در بررسی لامعی هراتی (Lamei Heravani, 2013) کشت مخلوط ۷۵ درصد نخود علوفه‌ای و ۲۵ درصد جو، بیش‌ترین مقدار شاخص بهره‌وری سیستم با ۲/۹۲ را داشت.

جدول ۷- مقایسه نسبت رقابتی، کاهش عملکرد واقعی و سودمندی کشت مخلوط نخودزراعی و کینوا در آرایش‌های مختلف کشت

Table 7- Comparison of competitive ratio, actual yield loss, intercropping advantage and system productivity index chickpea and quinoa under different intercropping arrangements

شاخص Index	نسبت رقابتی Competitive ratio		کاهش عملکرد واقعی Actual yield loss			سودمندی کشت مخلوط Intercropping advantage			شاخص بهره‌وری سیستم system productivity index
تیمار Treatment	نخودزراعی Chickpea	کینوا Quinoa	نخودزراعی Chickpea	کینوا Quinoa	کل Total	نخودزراعی Chickpea	کینوا Quinoa	کل Total	کل Total
٪۶۷ نخودزراعی + ٪۳۳ کینوا 67% chickpea + 33% quinoa	0.67	1.50	-0.06	0.41	0.35	-663	16487	15825	386.5
٪۵۰ نخودزراعی + ٪۵۰ کینوا 50% chickpea + 50% quinoa	0.64	1.57	-0.15	0.33	0.17	-1684	13088	11404	383.5
٪۳۳ نخودزراعی + ٪۶۷ کینوا 33% chickpea + 67% quinoa	0.62	1.62	-0.24	0.23	-0.01	-2651	9114	6464	378.6
٪۱۰۰ نخودزراعی + ٪۳۳ کینوا 100% chickpea + 33% quinoa	0.74	1.35	-0.08	0.24	0.16	-876	9707	8831	353.1
٪۱۰۰ نخودزراعی +٪۵۰ کینوا 100% chickpea + 50% quinoa	0.64	1.56	-0.10	0.40	0.30	-1099	16026	14926	375.8
٪۱۰۰ نخودزراعی + ٪۶۷ کینوا 100% chickpea + 67% quinoa	0.64	1.56	-0.10	0.40	0.30	-1091	16070	14979	388.4
٪۱۰۰ نخودزراعی + ٪۱۰۰ کینوا 100% chickpea + 100% quinoa	0.59	1.68	-0.19	0.37	0.18	-2036	14792	12755	385.3

نتیجه‌گیری

از بین دو گیاه نخودزراعی و کینوا، بیش‌ترین عملکرد را گیاه نخود به خود اختصاص داد. تولید حداکثر توسط نخود را می‌توان به ویژگی‌های ژنتیکی و توانایی گیاه در جذب مواد و عوامل ضروری رشدی نسبت داد. حداکثر عملکرد کل به تیمار کشت خالص نخودزراعی تعلق داشت که با تیمار ۶۷ درصد نخودزراعی + ۳۳ درصد کینوا اختلاف معنی‌داری نداشت. بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد کل به‌ترتیب از تیمارهای ۵۰ کیلوگرم در هکتار و عدم کاربرد کود نیتروژن به‌دست آمد. با افزایش مصرف کود نیتروژن، عملکرد در هر دو گیاه افزایش یافت. کم‌ترین عملکرد معادل نخودزراعی مربوط به تیمار کشت خالص نخودزراعی و کشت مخلوط افزایش ۳۳ درصد کینوا به نخودزراعی و بیش‌ترین آن مربوط به کشت خالص کینوا بود. حداکثر نسبت برابری زمین متعلق به تیمار ۱۰۰ درصد نخودزراعی + ۶۷ درصد کینوا بود، بنابراین از نظر نسبت برابری زمین، کشت مخلوط نخودزراعی و کینوا مناسب بود. ضریب نسبی تراکم کل در تمام تیمارها بیش از یک بود که نشان‌دهنده مطلوب بودن کشت مخلوط نخودزراعی و کینوا است. بررسی شاخص غالبیت نشان داد که کینوا در تیمارهای کشت مخلوط افزایشی و تیمار کشت مخلوط جایگزین گیاه غالب بود در نتیجه، علامت چیرگی کینوا با وجود مطلوب بودن عملکرد هر دو گیاه مثبت شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، دو گیاه رشد خوبی بدون مزاحمت برای گیاه دیگر داشتند که باعث شد، هر دو گیاه تولید خوبی داشته باشند. برای رسیدن به نتایجی با ثبات بیش‌تر، لازم است آزمایش‌هایی با تراکم و کود نیتروژن متفاوت مورد ارزیابی قرار گیرند.

References

Agegnehu, G., Ghizaw, A., & Sinebo, W. (2006). Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. *European Journal of Agronomy*, 25(3), 202-207. https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.05.002

Atis, I., Kotgen, K., Hatipoglu, R., Yilmaz, S., Atak, M., & Can, E. (2012). Plant density and mixture ratio effects the competition between vetch and wheat. *Australian Journal of Crop Science*, 6(3), 498-505.

Awal, M. A., Pramanik, M. H. R., & Hossen, M. A. (2007). Interspecies competition growth and yield in barley peanut intercropping. *Asian Journal of Plant Science*, 6(4), 577-584. https://doi.org/10.3923/ajps.2007.577.584

Banik, P., Midya, A., Sarkar, B. K., & Ghosh, S. S. (2006). Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weeds mothering. *European Journal of Agronomy*, 24, 325-332. https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.10.010

Baser Kouchebagh, S., Mirshekari, B., & farahvash, F. (2012). Improvement of corn yield by seed biofertilization and urea application. *World Applied Sciences Journal*, 16(9), 1239-1242.

Bedoussac, L., & Justes, E. (2010). Dynamic analysis of competition and complementarity for light and N use to understand the yield and the protein content of a durum wheat–winter pea intercrop. *Plant and Soil*, 330, 37-54. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0303-8

Choi, W. J., Han, G. H., Lee, S. M., Lee, G. T., Yoon, K. S., Choi, S. M., & Ro, H. M. (2007). Impact of land-use types on nitrate concentration and N^{15} in unconfined groundwater in rural areas of Korea. Agriculture, *Ecosystems and Environment*, 120(2-4), 259–268. https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.10.002

Dhima, K. V., Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B., & Dordas, C. A. (2007). Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research*, 100(2-3),: 249-256. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.008

Fallah, S. A. (2011). Recovery of nitrogen residue by the canola (*Brassica napus*) in rotation forage maize – canola. *Journal of Agroecology*, 1(2), 83–75. (In Persian with English Abstract)

Fallah, S. A., Baharlouie, S., & Abbasi Suraki, A. (2014). Evaluation of competitive and economic indices in canola and pea intercropping at different rates of nitrogen fertilizer. *Journal of Agroecology*, 6(3), 571-581. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V6I3.23941

Gao, Y., Duan, A., Sun, J., Li, F., Liu, H., & Liu, Zh. (2009). Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. *Field Crops Research*, 111(1-2), 65-73.

Ghosh, P. K. (2004). Growth, yield, competition and economics of groundnut/cereal fodder intercropping systems in the semi-arid tropics of India. *Field Crops Research*, 88, 227-237.

Hosseini, S. M. B., Mazaheri, D., Jahansouz, M. R., & Yazdi Samadi, B. (2003). The effects of nitrogen levels on yield and yield components of forage millet (*Pennisetum americanum*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) in intercropping system. *Journal of Pajouhesh Va Sazandegi*, 16(2), 60-67. (In Persian with English Abstract)

Lamei Heravani, J. (2012). Technical and economical evaluation of mixed cropping *Lathyrus* with barley and triticale under dryland conditions in Zanjan province. *Journal of Crop Production and Processing* 2(4): 93-103.

Lamei Heravani, J. (2013). Assessment of dry forage and crude protein yields, competition and advantage indices in mixed cropping of annual forage legume crops with barley in rainfed conditions of Zanjan. *Seed and Plant Production Journal* 29(2):169-184. (In Persian with English Abstract)

Lithourgidis, A. S., Vlachostergios, D. N., Dordasc, C. A., & Damalas, C. A. (2011). Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea–cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy* 34(4): 287-294. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.007

Morgado, L., & Willey, R. W. (2003). Effects of plant population and nitrogen fertillizer on yield and efficiency of maize-bean intercropping. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 38(11): 1257-1264.

Najafi, S., & Keshtehgar, A. (2014). Effect of intercropping on increase yield. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* 8(5): 549-552.

Nakhzari Moghaddam, A., Dehghanpour Inchehbron, O., & Rahemi Karizaki, A. (2016). The effects of nitrogen levels and intercropping pattern on forage yield and competition indices of barley and pea. *Electronic Journal of Crop Production* 9(1): 199-214. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22069/EJCP.2016.2964

Raftari, E., Nakhzari Moghaddam, A., Mollashahi, M., & Hosseini Moghaddam, H. (2018). The effect of nitrogen fertilizer and planting pattern on yield and competition indices of pea (*Pisum sativum* L.) and lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Agroecology*. 10(2): 504-515. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V10I2.61305

Rastgoo, S., Aynehband, A., & Fateh, E. (2015). Competitiveness of sesame and mung bean crops in both monocropping and intercropping systems. *Journal of Agroecology* 7(3): 356-367. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/110.22067/JAG.V7I3.31213

Willey, R. M. (1979). Intercropping, its importance and research needs, competition and yield advantages. *Journal of Crop Science* 32: 1-10.

Yilmaz, S., Atak, M., & Erayman, M. (2008). Identification of advantages of maize legume intercropping over solitary cropping through competition incides in the east Mediterranean region. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 32: 111-119.